

УДК 622.867

И.В. Степанян, А.В. Карпишук, С.И. Буянов

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА
СПИРОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Семинар № 23

На предприятиях угледобывающей промышленности получили широкое распространение хронические обструктивные болезни легких (ХОБЛ). По прогнозам ВОЗ, к 2020 году ХОБЛ будет доминировать в структуре распространенности и смертности на планете наряду с сердечно-сосудистыми заболеваниями и диабетом. Сегодня от ХОБЛ на Земле умирает в 2,2 раза больше людей, чем от рака легких. Эта группа заболеваний объединена общим признаком – сужением дыхательных путей – бронхов. Это происходит из-за хронического воспаления легочной ткани, вызванного загрязненным воздухом, промышленными газами, пылью [1].

Такое положение во многом обусловлено поздней диагностикой этой патологии – выраженные симптомы заболевания проявляются, когда легочная функция уже существенно нарушена. Поэтому ранняя диагностика функциональных респираторных нарушений при заболеваниях легких является проблемой чрезвычайно актуальной.

В связи с этим встает необходимость обеспечения быстрого и надежного выявления признаков нарушения функции внешнего дыхания на ранней стадии с тем, чтобы предупредить опасное профзаболевание и снизить риск поражения дыхательной системы.

Для этих целей на кафедре Электротехники и информационных систем

МГГУ под руководством заслуженного деятеля науки РФ доктора технических наук профессора Шкундина С.З. был разработан акустический спироанализатор [2, 3]. Современный акустический спирометр способен осуществлять прозвучивание измерительного канала с частотой 300 раз в секунду, определяя мгновенную скорость потока. Таким образом, согласно теореме Котельникова, акустический спирометр способен улавливать колебания воздушного потока с частотой до 150 Гц. Акустический спирометр не создает препятствий измеряемому потоку (поскольку в сечении нет никаких препятствий), он безынерционен и портативен, что позволяет производить мониторинг и оценку органов дыхания экспресс методом. Таким образом, если прибор сигнализирует об обнаружении признаков нарушений функции дыхания, то обследуемый направляется на углубленное медицинское обследование к врачу с тем чтобы своевременно предупредить заболевание и принять профилактические меры.

В ходе проведенных экспериментов с помощью акустического спироанализатора было обследовано 92 человека, среди которых 44 имеют диагноз «хронический пылевой бронхит» различной степени тяжести и другие формы профзаболеваний пылевой этиологии. Преобразование Фурье позволило выявить насыщенную спектральную картину форсированного выдоха. Анализ получен-

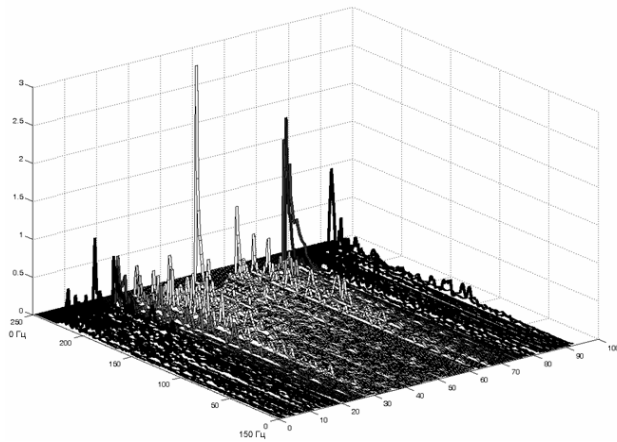


Рис. 1. Набор спектров, полученных при помощи акустического спироанализатора. Представлена спектральная мощность в диапазоне частот от 0 до 150 Гц. На оси абсцисс отложены порядковые номера 250 элементов вектора, кодирующего спектры

ных спирометрических кривых показал, что в высокочастотной области спектральных портретов дыхания содержится информация, требующая дополнительного углубленного анализа (рис. 1), что стало предметом дальнейших исследований.

Для того чтобы с помощью акустического спироанализатора оперативно выявлять признаки нарушения функции дыхания необходимо обеспечить возможность применения различных аналитических методов для распознавания результатов акустической спирометрии. Так как задача распознавания спирометрических спектров характеризуется нечеткостью, неточностью, высокой размерностью, она относится к классу интеллектуальных задач. Следовательно, для ее решения целесообразно построение системы искусственного интеллекта (интеллектуальной информационной системы). Системы искусственного интеллекта или информационные системы, основанные на знаниях - это дальнейшее качественное развитие систем обработки данных, это информационная технология решения наиболее трудных неформализованных или слабоформализованных задач, таких, например, как за-

дачи управления, прогноза или задачи медицинской диагностики.

Компонентами разработанной информационной системы являются: непосредственно акустический спироанализатор, база данных, распознающий адаптивный алгоритм математического анализа снимаемой со спироанализатора информации, база знаний, а также система управления базой данных и базой знаний. Наличие базы знаний делает данную информационную систему интеллектуальной, поскольку в процессе построения такой системы, распознающие алгоритмы учитывают знания экспертов. В тоже время, база данных служит для хранения и накопления статистической информации с целью ее последующей обработки математическими методами.

Большой интерес вызывает распознающий алгоритм для решения задачи спирометрического анализа. На основе сравнительного анализа ряда математических методов был выбран нейрокомпьютерный подход. Сегодня этот подход стал одним из доминирующих при построении современных интеллектуальных автоматизированных информационных систем. Искусственные нейронные сети (нейрокомпьютеры, нейросистемы) – самообучающиеся системы, имитирующие деятельность нейронов коры головного мозга эксперта. Эволюционно-генетические алгоритмы [4] представляют собой сетевые модели

решения разнообразных комбинаторных и оптимизационных задач, имитирующие принцип естественного отбора в природе. Применение технологий, основанных на биологических принципах, в ряде случаев позволяет найти близкое к глобальному оптимуму решение многоэкстремальной задачи. В отличие от метода линейной регрессии, широко используемой в прикладной статистике, нейронные сети позволяют обнаруживать нелинейные зависимости. В тоже время, в современной нейроматематике известно множество принципиально различных нейросетевых архитектур. Поэтому ряд разработанных для акустической спирометрии интеллектуальных систем различаются именно аналитической частью – распознающим блоком, в то время как остальные компоненты практически неизменны (рис. 2). В качестве примера распознающего блока рассмотрим нейронную сетку Кохонена с самоорганизацией.

Способность самоорганизующейся нейронной сети Кохонена активизировать нейрон, ответственный за целый кластер (группу сходных векторов), можно применить для распознавания спирометрических спектров. Входная информация для сети Кохонена – это спектр дыхания, снятый со спирометра. Нейрон с максимальной активностью соответствует кластеру, к которому принадлежит соответствующий спирометрический спектр. Таким образом, для кластер-анализа используется сеть Кохонена, для которой задачей является разбиение множества спектров на кластеры и сопоставление полученного результата с распределением спектров по классам.

Самоорганизация такой нейросети состоит из последовательности коррекций векторов, представляющих собой

весовые коэффициенты нейронов. Каждый нейрон i W представляет собой n -мерный вектор $[w_1, w_2, \dots, w_n]^T$, где $n=250$ - размерность входных векторов, кодирующих спирометрические спектры. На каждом шаге обучения из исходного набора спирометрических спектров случайно выбирается один, а затем производится поиск наиболее похожего на него вектора весовых коэффициентов нейронов. При этом выбирается нейрон-победитель, который наиболее похож на вектор входов (в качестве критерия схожести используется Евклидово расстояние между спектрами). После того, как вычислен нейрон-победитель, производится корректировка весов нейросети. При этом вектор, описывающий нейрон-победитель и вектора, описывающие его соседей в сетке, перемещаются в направлении входного спирометрического спектра. Это проиллюстрировано на рис. 3 (в качестве примера используется двумерный вектор входа).

На основе проведенных исследований получены закономерности, которые позволяют учитывать интегралы центроидов кластеризации. Центроид кластеризации – вектор весовых коэффициентов нейрона, формирующего соответствующий кластер. В результате экспериментов с различными видами и топологиями нейросетей Кохонена можно сделать вывод о том, что для синтезированных нейросетей Кохонена интеграл центроида кластеризации, соответствующий нарушению функции внешнего дыхания, всегда меньше интегралов центроидов кластеризации, соответствующих норме [5]. При этом норме соответствует два и более кластера, в то время как нарушенной функции дыхания соответствует один кластер.

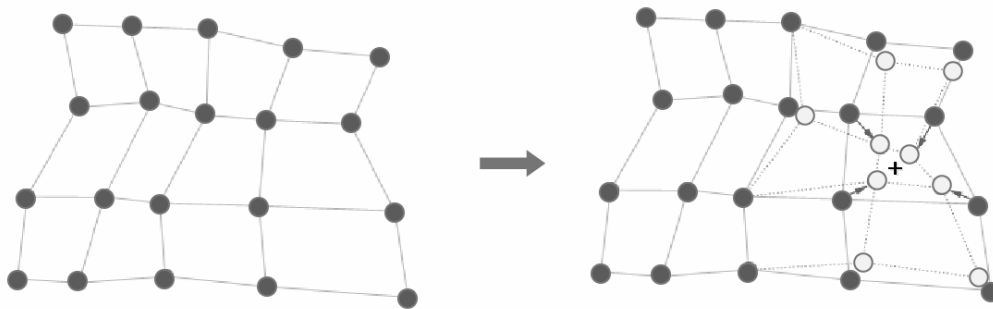


Рис. 3. Подстройка весов нейрона победителя и его соседей. Координаты входного вектора отмечены крестом, координаты нейронов в результате самоорганизации отображены темно-серым цветом. Вид сетки после модификации отображен штриховыми линиями

сети Кохонена нейроэволюция радиальный базис

Рис 2. Принципиальная схема информационной системы распознавания результатов акустической спирометрии. БД и БЗ- база данных и база знаний соответственно, СУБД и СУБЗ – система управления базой данных и базой знаний. Мозг – математическая обвязка (нейроэксперт). Теоретически математическая модель может быть любая, например нейросеть Кохонена для кластер анализа, нечеткая логика, нейроэволюция, сети радиального базиса и т.д.

Самоорганизация нейросетей Кохонена для анализа данных акустической спирометрии позволяет формировать то количество спирометрических кластеров, которое реально присутствует в данных, а не жестко постулированы (как это происходит в случае экспертной оценки). В тоже время, идея другого подхода к распознаванию результатов акустической спирометрии состоит в том, чтобы классифицировать спектральные пор-треты выдоха по заведомо установленным нарушениям и обучить слоистую прямооточную нейронную сеть перцептронного типа выявлять эти признаки.

Поскольку слоистые нейросети являются частным случаем нелинейной регрессии и существуют доказательства их способностей к универсальной аппроксимации [6], то искомую распознающую функцию можно представить

в виде нейросети, обучающейся с учителем [7], а для ее обучения можно применять методы нулевого, первого и второго порядков. Общий вид многослойной нейросетевой модели:

$$y(p) = f \left[\sum_{h_{W-1}=0}^{H_{W-1}} a_{h_W, h_{W-1}} f \left[\sum_{h_{W-2}=0}^{H_{W-2}} a_{h_{W-1}, h_{W-2}} f \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left[\sum_{h_{W-3}=0}^{H_{W-3}} a_{h_{W-2}, h_{W-3}} \dots a_{h_2, h_1} f \left[\sum_{h_0=1}^{H_0} a_{h_1, h_0} x^0 \right] \dots \right] \right] \right]$$

где $y(p)$ – функция выхода слоистой нейросетевой модели; a, h, H, W – ее параметры.

Способности к обобщению прямооточной слоистой нейросети зависят от ее структуры. Существует k вариантов организации межнейронных связей, такое, что:

$$k = \frac{n^2!}{(n^2 - m)!m!},$$

где n – количество нейронов m – количество синапсов нейросети. Все эти варианты различаются способностью к обобщению за счет структуры синаптических связей.

Для выбора структуры сети, распознающей спирометрические спектры, были разработаны нейросетевые операции и алгоритм синтеза нейросети, основанный на принципе эволюции [8]. Разработанные операции были применены для синтеза нейросетевой структуры, распознающей результаты акустической спирометрии [9].

Нейронную сеть, распознающую спектральные портреты, можно рассматривать как совместно функционирующие нейросетевые блоки. В эволюционно-генетическом поиске структуры нейросети можно опираться на экспертные оценки популяции, выступающей в роли коллектива нейроэкспертов. В процессе эволюционного поиска нейронная сеть не конвертируется в генотип, а все преобразования структуры выполняются напрямую. Это отличает разработанный подход от классических генетических алгоритмов, предусматривающих кодирование фенотипа особи (структура) в генотип (код).

В ходе нейроэволюционного поиска синтезируется набор нейронных сетей с различной структурой. При этом подсети подбираются в виде случайных пар и отбираются такие варианты пар, которые в результате объединения дают меньше ошибок на тесте, чем лучшая сеть из пары. Затем, в ходе искусственной эволюции, эти комбинации также объединяются, в результате чего сложность нейронной сети увеличивается от поколения к поколению. В результате проведенных исследований был синтезирован ряд слоистых нейросетей, две из которых схематически изображены на рис. 4. Синтезированные слоистые сети прошли испытания на тестовом множестве и показали воз-

можность своего применения для распознавания спирометрических спектров.

Помимо описанных выше нейросетевых технологий в исследованиях были применены RBF-сети, в частности вероятностные, нечеткая логика, метод динамических ядер и др. Отличительной особенностью всех этих методов является то, что их можно отнести к классу методов понижения размерности. В то же время, известны и обратные методы – методы повышения размерности. Имея инструмент контролируемого повышения размерности, можно управлять вероятностью нахождения оптимального или близкого к оптимальному решению. В качестве примера такого подхода отметим перспективы применения виртуального квантового нейрокомпьютера «ЭМБРИОН» в составе информационной системы распознавания результатов акустической спирометрии. «ЭМБРИОН» [10] представляет собой модель мозга простейших организмов и отдельных областей мозга человека в виде функциональной системы академика П.К. Анохина, известной из нейрофизиологии. Особенности нейрофизиологической модели мозга являются принцип экстренной мобилизуемости и реализация аппарата прогноза будущего, известные из теории функциональных систем Анохина. Это возможность быстрого, в реальном времени создания и реконfigurирования синаптических весов связей и типов нейронов виртуальной нейронной сети, состоящей из сотен тысяч и более виртуальных квазинейронов. Это свойство позволяет отображать спирометрические спектры в пространство виртуальных квазинейронов сколь угодно большой размерности, ограниченность которого зависит только от возможностей технологической базы нейрокомпьютера. Этот подход требует дополнительных исследований для ре-

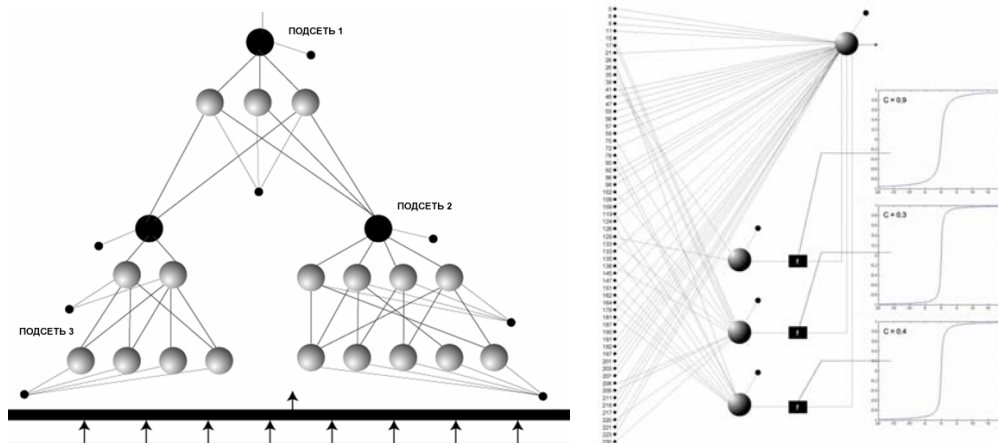


Рис. 4. Внешний вид слоистых прямоточных нейронных сетей без обратных связей, распознающих спектры акустической спирометрии. Сети построены с применением разработанных эволюционных операций. Входной слой изображен схематично в виде линии

шения на его базе задачи акустической спирометрии.

Не смотря на то, что на обучение нейросетевых моделей и поиск их структур требуется значительные вычислительные затраты, нейросетевые алгоритмы обладают преимуществом – это мгновенность срабатывания искусственной нейронной сети, что необходимо для оперативного распознавания признаков нарушения функции дыха-

ния. Разработанная интеллектуальная информационная система позволяет с помощью акустического спироанализатора, теста ФЖЕЛ (форсированная жизненная емкость легких) и нейронных сетей выявлять признаки нарушения функционирования дыхательной системы, что способствует раннему выявлению профессиональных заболеваний дыхательной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айсанов З.Р., Кокосов А.Н., Овчаренко С.И., Хмелькова Н.Г., Цой А.Н., Чучалин А.Г., Шмелев Е.И. Хронические обструктивные болезни легких. Федеральная программа. – М.: Consilium Medicum Том 2/N 1/2000
2. Шкундин С.З. Лашин В.Б. Фазовый способ акустической анемометрии. Метрология. 1990. №7 с.39-43.
3. Шкундин С.З., Румянцева В.А. Повышение точности измерения скорости воздушного потока акустическим анемометром. // Измерительная техника, №1, 2001, С. 54-57.
4. Holland John, Genetic Algorithms, Scientific American, July 1992, Vol. 267, No 1
5. Буянов С.И., Карпишук А.В, Степанян И.В. Выявление признаков профессиональных заболеваний органов дыхания с помощью аку-

- стического спироанализатора и самоорганизующегося слоя Кохонена / Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности // Мат-лы Второй междунар. науч.-практ. конф.: Том 6 С-Пб.: Изд-во Политехнического университета, 2006, , С. 211-212.
6. Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., Кирдин А.Н., Миркес Е.М., Новоходько А.Ю., Россиев Д.А., Терехов С.А., Сенашова М.Ю., Царегородцев В.Г. Нейроинформатика. Новосибирск: Наука, 1998
7. Горбань А.Н., Царегородцев В.Г. Методология производства явных знаний из таблиц данных при помощи обучаемых и упрощаемых искусственных нейронных сетей. Труды VI Международной конференции

"Математика. Компьютер. Образование". – М.: Прогресс-традиция, 1999. – ч.1 - С. 110-116.

8. *Хомич А.В., Степанян И.В., Карпишук А.В.* Принцип блочности в эволюционной оптимизации структур нейронных сетей. - *Нейрокомпьютеры: разработка и применение.* - 2006. - №3, С. 17-25.

9. *Хомич А.В., Степанян И.В., Карпишук А.В.* Диагностика хронического пылевого бронхита по данным акустической спирометрии с применением блочных нейронных сетей. - *Информационные процессы.* – 2005. - Том 5, №5, С. 405-413.

10. *Цыганков В.Д.* *Нейрокомпьютер и мозг.* - М.: Синтег, 2001. **ИИАС**

Коротко об авторах

Степанян И. В. – кандидат технических наук,
Карпишук А.В., Буянов С.И. –
кафедра «Электротехники и информационных систем»
Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 23 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *С.З. Шкудин.*

